

M.H.  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

REC'D 10 NOV 1999

WIPO

PCT

**BEST AVAILABLE COPY****Bescheinigung**DE 99 / 2380  
4 / Priority  
Doc.  
E. J. Illies  
G-14-01

Das Institut für Halbleiterphysik Frankfurt (Oder) GmbH in Frankfurt, Oder/Deutschland  
hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung  
in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensio-  
nalen Dotierverteilung"

am 12. August 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüngli-  
chen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole  
H 01 L, G 01 N und G 01 R der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 30. August 1999

**Deutsches Patent- und Markenamt**

**Der Präsident**

Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 37 490.9

Dzierzon

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(A) OR (B)

## **Zusammenfassung**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung vorzuschlagen, bei dem eine direkte Abbildung der zweidimensionalen Dotierverteilung und der zweidimensionalen Potentialverteilung im Transmissionselektronenmikroskop ermöglicht wird. Erfindungsgemäßes Verfahren basiert auf der Anwendung der Elektronenholographie, insbesondere der Elektronen-Off-Axis Holographie, im Transmissionselektronenmikroskop. Die Elektronenholographie erlaubt die zweidimensionale Vermessung der Phase der Elektronenwelle im Transmissionselektronenmikroskop. Das Phasenbild ist direkt proportional zur Potentialverteilung in der Raumladungszone von pn-Übergängen in Halbleiterstrukturen.

(hierzu Fig. 1)

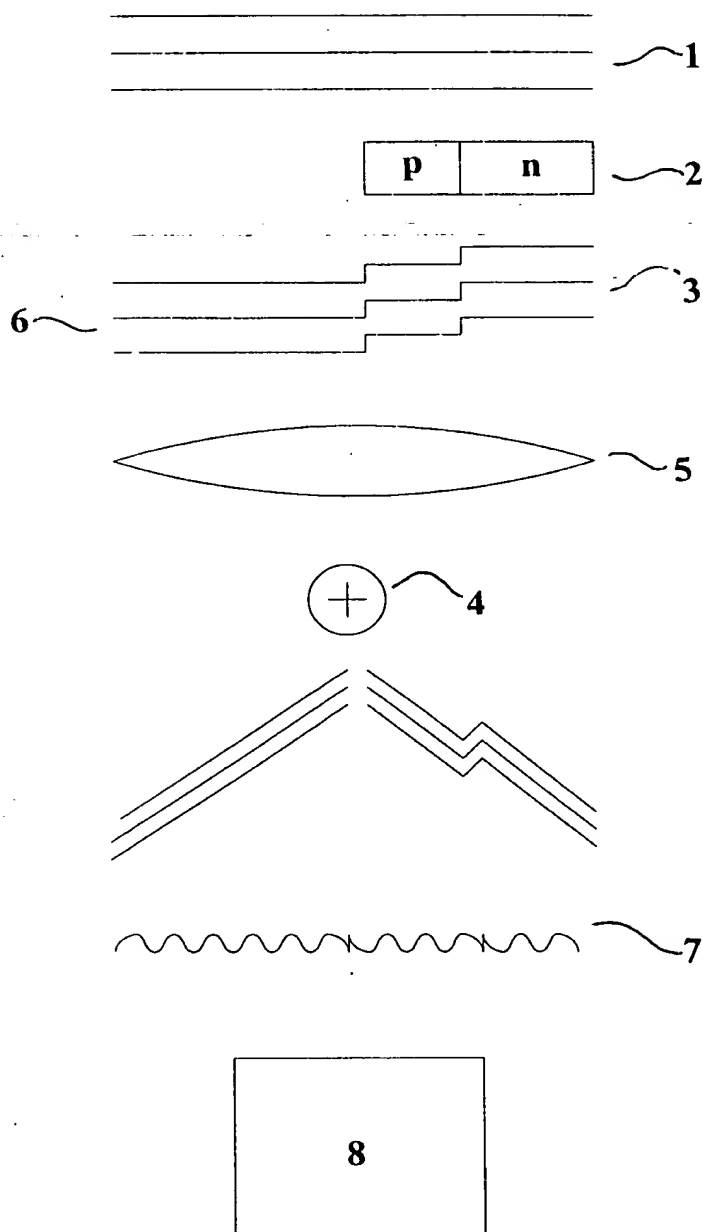


Fig. 1

**Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung**

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung.

Moderne Halbleiterbauelementstrukturen im Submikrometerbereich erfordern das Einbringen und die Manipulation von Dotierelementen in Silizium-Halbleiterbauelemente mit lateraler und vertikaler Genauigkeit im nm-Bereich. Die zweidimensionale Bestimmung solcher Dotierprofile an realen Bauelementen mit einer Ortsauflösung in dieser Größenordnung ist von hoher Bedeutung zur Optimierung von physikalischen Modellen zur numerischen Simulation der komplexen Herstellungsprozesse und zur Fehleranalyse in real prozessierten Bauelementen. Bisher ist kein Verfahren bekannt, welches eine direkte Abbildung solcher zweidimensionaler Dotierprofile im Transmissionselektronenmikroskop (TEM) ermöglicht. Die US 5,523,700 beinhaltet ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Dotierprofils unter Nutzung der lokalen Kapazitätsänderungen an der Oberfläche eines Halbleitermaterials. Die gemessene Dotierverteilung an der Probenoberfläche ist aufgrund von z. B. Präparationsartefakten oder Oberflächensegregation oft nicht repräsentativ für die Verhältnisse im Festkörper. Um eine lokale Kapazitätsänderung als Dotierverteilung zu

quantifizieren, muß eine Modellierung der lokalen Kapazität erfolgen. Dies erfordert jedoch umfangreiche elektrische Simulationen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung vorzuschlagen, bei dem eine direkte Abbildung der zweidimensionalen Dotierverteilung und der zweidimensionalen Potentialverteilung im Transmissionselektronenmikroskop ermöglicht wird.

Erfindungsgemäßes Verfahren basiert auf der Anwendung der Elektronenholographie, insbesondere der Elektronen-Off-Axis Holographie, im Transmissionselektronenmikroskop. Die Elektronenholographie erlaubt die zweidimensionale Vermessung der Phase der Elektronenwelle im Transmissionselektronenmikroskop. Das Phasenbild ist direkt proportional zur Potentialverteilung in der Raumladungszone von pn-Übergängen in Halbleiterstrukturen.

Die Potentialverteilung wird mit Hilfe der Elektronenholographie gemessen.

Erfindungsgemäßes Verfahren basiert auf den Verfahrensschritten:

- Erzeugung einer ebenen Elektronenwelle,
- Modulation der ebenen Elektronenwelle infolge Durchgang durch eine gedünnte Querschnittsprobe des Halbleiterbauelements,
- Vergrößerung der modulierten Bildwelle mittels einer Objektivlinse,
- Überlagerung der vergrößerten Bildwelle und einer ebenen Referenzwelle mittels Elektronenbiprisma,

- Registrierung des erzeugten Elektronenhologramms mittels digitaler CCD-Kamera, Photoplatten oder anderer Detektorsysteme,
- Extrahierung der Phase der Bildwelle mittels Fourieranalyse und
- Messung der zweidimensionalen Potentialverteilung aus dem Phasenbild.

Durch Vergleich mit numerischen Simulationen des Herstellungsprozesses werden die zweidimensionale Dotierverteilung in CMOS-Strukturen, insbesondere CMOS-Transistorstrukturen, bestimmt und/oder physikalische Modelle für die Simulation des Herstellungsprozesses optimiert.

Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert.

Fig. 1 zeigt das Prinzip der elektronenholographischen Bestimmung der Potentialverteilung. Zuerst erfolgt die Präparation einer gedünnten Querschnittsprobe. Diese muß mit einer Zielpräparation so hergestellt werden, daß in unmittelbarer Umgebung von ca. 100 nm bis 500 nm des zu untersuchenden Transistors ein „Loch“ für die benötigte ebene Referenzwelle 6, welche nicht durch die Probe geführt werden darf, entsteht. Die Probendicke in der Gegend des zu untersuchenden Transistors sollte innerhalb eines optimalen Bereichs zwischen 50 nm und 500 nm liegen. Eine ebene Elektronenwelle 1 im TEM wird beim Durchgang durch eine gedünnte Querschnittsprobe des pn-Übergangs eines CMOS-Transistors 2 durch die Potentialverteilung in der Phase moduliert. Die durch eine Objektivlinse 5 vergrößerte modulierte Bildwelle 3 wird mit Hilfe eines

Elektronenbiprismas 4 mit einer ebenen Referenzwelle 6 überlagert. Das erzeugte Elektronenhologramm 7 wird mittels digitaler CCD-Kamera registriert. Durch Fourieranalyse werden Amplitude und Phase der Bildwelle 3 extrahiert. Aus dem Phasenbild wird die zweidimensionale Potentialverteilung gemessen. Das Phasenbild ist direkt proportional zur Potentialverteilung. Eine Kombination von Amplituden- und Phasenbild erlaubt zusätzlich eine lokale Bestimmung der Probendicke.

Die anschließende Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung erfolgt durch eine Anpassung der durch die Dotierverteilung erzeugten Potentialverteilung an die mit der Elektronenholographie gemessene Potentialverteilung. Dazu werden numerische Simulationen des der Dotierverteilung entsprechenden Potentials verwendet.

In der vorliegenden Erfindung wurde anhand eines konkreten Ausführungsbeispiels ein Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung im Ausführungsbeispiel eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

## **Patentansprüche**

1. Verfahren zur Vermessung der zweidimensionalen Potentialverteilung in CMOS-Halbleiterbauelementen und Bestimmung der zweidimensionalen Dotierverteilung **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels Elektronenholographie die Phase einer Elektronenwelle im Transmissionselektronenmikroskop vermessen wird, wobei die minimale laterale Auflösung im nm-Bereich liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** die Verfahrensschritte
  - Erzeugung einer ebenen Elektronenwelle (1),
  - Modulation der ebenen Elektronenwelle (1) infolge Durchgang durch eine gedünnte Querschnittsprobe des Halbleiterbauelements,
  - Vergrößerung der modulierten Bildwelle (3) mittels einer Objektivlinse (5),
  - Überlagerung der vergrößerten Bildwelle (3) und einer ebenen Referenzwelle (6) mittels Elektronenbiprisma (4),
  - Registrierung des erzeugten Elektronenhogramms (7),
  - Extrahierung der Phase der Bildwelle (3) mittels Fourieranalyse und
  - Messung der zweidimensionalen Potentialverteilung aus dem Phasenbild.



3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zweidimensionale Dotierverteilung durch Anpassung an die gemessene Potentialverteilung aufgrund numerischer Simulationen des Herstellungsprozesses erfolgt.

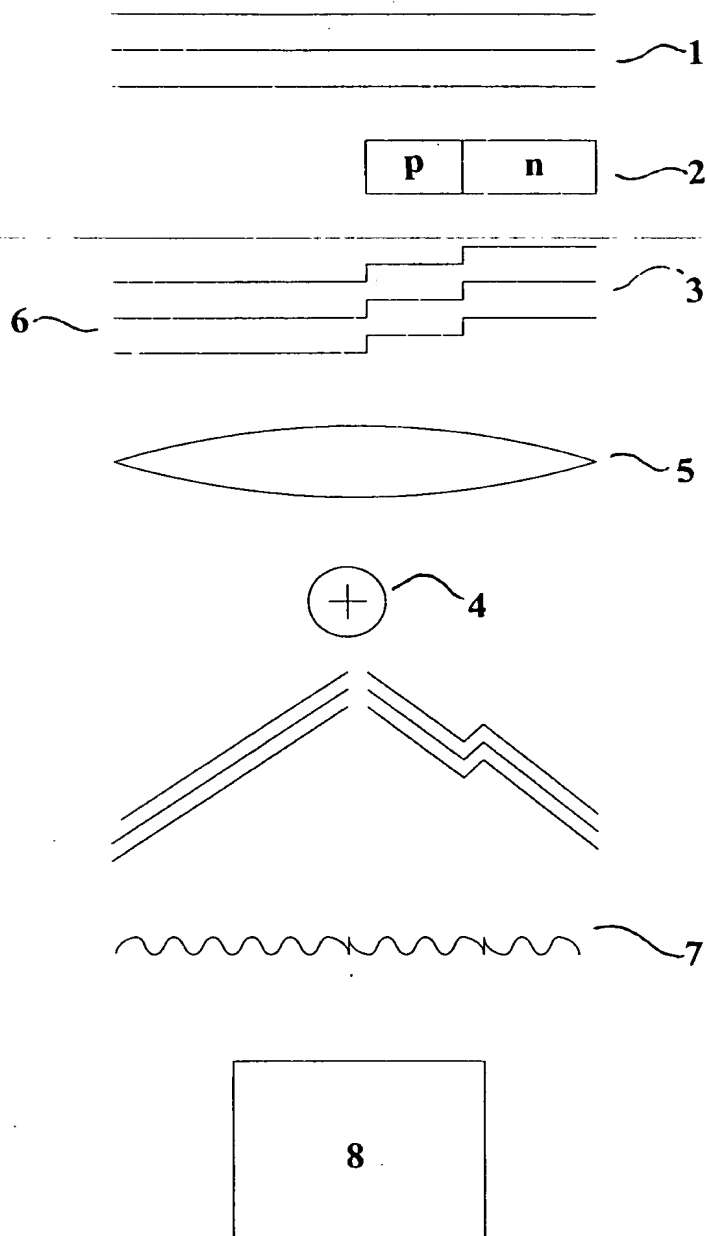


Fig. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☒ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**